

## ИК КОЛЬЦЕВЫЕ ТУМАННОСТИ В ГАЛАКТИКАХ МЛЕЧНЫЙ ПУТЬ И М33

А. П. Топчиева

*Институт астрономии Российской академии наук*

Изучение образования массивных звезд в нашей и других галактиках является одной из возможностей связать информацию, полученную для областей звездообразования в целом. В данной работе представлены статистические и теоретические данные по инфракрасным кольцевым туманностям (ИККТ) в Галактике и галактике М33, которая расположена недалеко от нас и в картинной плоскости удобна для выделения отдельных объектов.

В данной работе показаны сравнения потоков для 258 комплексов звездообразования в М33, внегалактических комплексов звездообразования и для ИККТ в нашей Галактике. Проведен теоретический расчет распределения полициклических ароматических углеводородов с использованием программы DustEM.

## IR RING NEBULAE IN THE MILKY WAY AND M33 GALAXIES

A. P. Topchieva

*Institute of Astronomy, Russian Academy of Sciences*

Studying the formation of massive stars in our Galaxy and in other galaxies is one of the possibilities to connect the information obtained for the regions of star formation in general. This study presents statistical and theoretical data on infrared ring nebulae (IRRN) in our Galaxy and the galaxy M33, which is located not far from us and in the plane of sky, which is convenient for selecting individual objects.

In this paper, comparisons of fluxes for 258 star-forming complexes in M33, extragalactic of star formation complexes, and for IRRN in our Galaxy are shown. A theoretical calculation of the distribution of polycyclic aromatic hydrocarbons using DustEM has been carried out.

## Введение

Исследование звездообразования является одной из актуальнейших проблем современной астрофизики, особое место в ней занимает изучение образования массивных звезд. Мы все еще далеко не полностью представляем себе процесс формирования этих объектов, что в значительной степени связано с недостатком наблюдательных данных. Однако в последнее время совершенствование наземных и космических инструментов позволяет получать все более детальную информацию об областях образования массивных звезд. Одним из относительно недавних открытий стало обнаружение большого числа инфракрасных кольцевых туманностей (ИККТ), возникающих в результате взаимодействия молодых массивных звезд с веществом родительского молекулярного облака. Моделирование этих объектов, с одной стороны, открывает путь к выявлению основных закономерностей процесса образования массивных звезд, но, с другой стороны, требует учета большого количества физических процессов, происходящих в их окрестностях.

Сравнительно простая морфология ИККТ означает, что по крайней мере некоторые из них можно исследовать при помощи одномерных газодинамических моделей, однако

для детального сравнения результатов моделирования с данными наблюдений необходимы составление и анализ максимально широкой выборки «эталонных» туманностей, которые находились бы на разных эволюционных стадиях, создавались бы звездами разных спектральных классов и пр.

Помимо этого такие же объекты, как ИККТ, можно наблюдать как комплекс звездобразования (КЗО) массивных звезд в других галактиках. Сопоставление информации по ИККТ и КЗО поможет провести сравнение образования звезд и выявить общие законы, в том числе для эволюции межзвездного вещества.

В данной работе представлен краткий обзор статистических данных по инфракрасным наблюдениям для внегалактических КЗО и для ИККТ в нашей Галактике. Показаны результаты расчетов кода DustEM, которые представляют собой карты распределения полициклических ароматических углеводородов (ПАУ) в КЗО NGC 604 галактики М33. Внутри практически всех колец или арок излучения на 8 мкм наблюдается излучение на 24 мкм. Это излучение обычно объясняется тепловым излучением пыли, так как в этом диапазоне нет сильных молекулярных линий. Традиционно считается, что в излучении на 8 мкм проявляют себя главным образом ПАУ, а в более длинноволновом диапазоне — крупная холодная пыль. Поэтому карты распределения пыли, в том числе и ПАУ, помогут понять, как пыль распределена в галактических и во внегалактических областях звездообразования.

## Результаты расчетов ИК-потокa и ПАУ по нашей Галактике и М33

В ходе наблюдений на космических ИК-телескопах Spitzer, WISE, Akari и Herschel в нашей Галактике было открыто более 8 000 ИККТ [1–5], которые выглядят как замкнутые или разомкнутые кольцевые структуры и связаны с рождением массивных звезд классов О–В [1, 2]. Последние исследования других галактик, в частности М33, показали, что существуют КЗО, которые также связывают с объектами формирования звезд. Статистический анализ таких объектов может помочь выявить общие свойства в формировании звезд как в нашей, так и в других галактиках. За основу анализа данных были взяты инфракрасные потоки по данным космических телескопов для расчета потоков теплового излучения пыли в ИККТ и МЗО. ИК-потоки рассчитывались на длинах волн 8, 24, 70 и 160 мкм как для нашей галактики, так и для 258 КЗО в М33. Показано (рис. 1), что потоки согласуются с предсказанием согласно критериям [5] ( $[F_{24}/F_8] < 1.0$ ,  $[F_{70}/F_{24}] > 0.8$ ,  $[F_{160}/F_{24}] > 0.8$ ,  $[F_{160}/F_{70}] > -0.2$ ) и относятся к ИККТ, однако имеются и объекты, которые выходят за границу, предложенную в [5]. Это может быть связано с тем, что в выборке [5] присутствуют объекты, у которых плохо разрешается морфологическая структура.

Было проведено сравнение расчетов с работой [6] для внегалактических объектов и обнаружены отличия в показателях цвета  $[F_{24}/F_8]$ ;  $[F_{160}/F_{70}]$ ;  $[F_{70}/F_8]$ ;  $[F_{160}/F_{24}]$  (рис. 1, 6). У объектов из нашей выборки они оказываются существенно выше, чем в работе [6]. Эти отличия вызваны применением разных процедур вычитания фона в работах [6, 7] — процедура для точечного источника, поскольку внегалактические объекты пространственно неразрешимы в данной работе.

Помимо этого, на основе наблюдательных данных и рассчитанных потоков с использованием программного кода DustEM, были построены теоретические карты распределения ПАУ. Размер пылинок и их состав взяты из работ [8–10]. На рис. 2 представлены карты распределения излучения на 8 мкм, которое связывают с излучением ПАУ слева. Справа — распределение ПАУ в NGC 604 с учетом излучения на 24, 70 и 160 мкм (см. работу [8]).

В дальнейшем планируется применить отработанную методику для сравнения наблю-

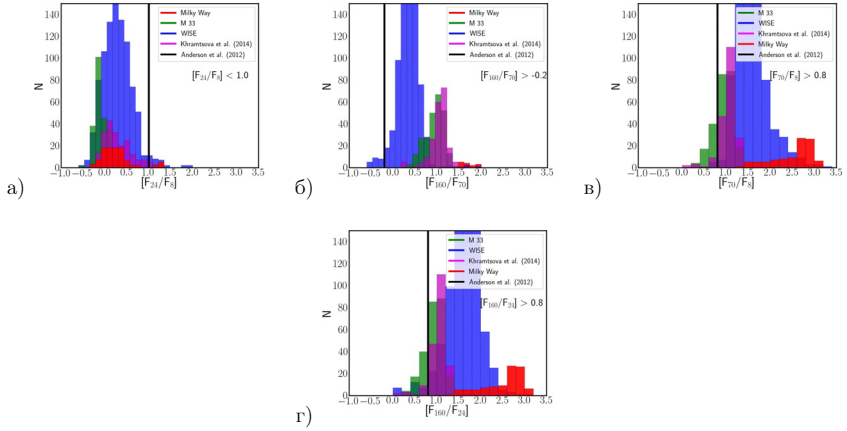


Рис. 1. Показатели цвета ИККТ. Фиолетовым цветом показаны данные для внегалактических КЗО [6]; красным цветом — данные для 99 объектов, представленных в нашей Галактике; зеленым — для 258 КЗО в М33; синим — для ИККТ из каталога WISE; вертикальными линиями — границы между областями НП и планетарными туманностями согласно [5]: а —  $[F_{24}/F_8]$ ; б —  $[F_{160}/F_{70}]$ ; в —  $[F_{70}/F_8]$ ; г —  $[F_{160}/F_{24}]$

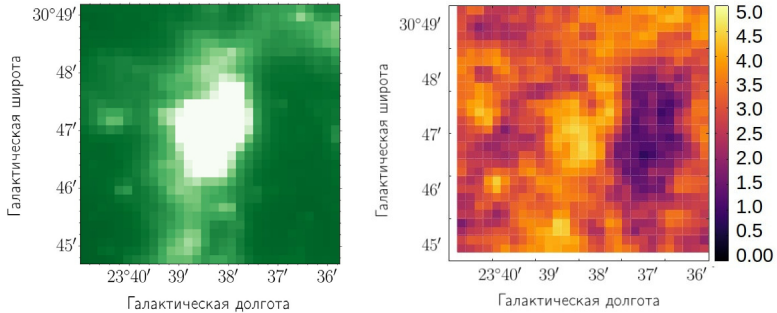


Рис. 2. Карта распределения инфракрасного излучения на 8 мкм (слева) и доля ПАУ (справа) в КЗО NGC 604 галактики М33

даемых параметров для ИККТ не только сферически-симметричной формы, но и для туманности S255, которая имеет сложную морфологию, но является комплексом звездообразования.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ 20-02-00643 А. Также данная работа была поддержана грантом Фонда развития теоретической физики и математики «БАЗИС».

## Библиографические ссылки

- [1] Churchwell E., Povich M. S., Allen D. et al. The Bubbling Galactic Disk // *Astrophys. J.* — 2006. — Vol. 649, № 2. — P. 759–778.
- [2] Churchwell E., Watson D. F., Povich M. S. et al. The Bubbling Galactic Disk. II. The Inner 20° // *Astrophys. J.* — 2007. — Vol. 670, № 1. — P. 428–441.
- [3] Anderson L. D., Bania T. M., Balser Dana S. et al. The WISE Catalog of Galactic H II Regions // *Astrophys. J. Suppl. Ser.* — 2014. — Vol. 212, № 1. — P. 1. 1312.6202.
- [4] Bufano F., Leto P., Carey D. et al. First Extended Catalogue of Galactic bubble infrared fluxes from WISE and Herschel surveys // *Mon. Not. R. Astron. Soc.* — 2018. — Vol. 473, № 3. — P. 3671–3692. 1711.06263.
- [5] Anderson L. D., Zavagno A., Deharvang L. et al. The dust properties of bubble H II regions as seen by Herschel // *Astron. Astrophys.* — 2012. — Vol. 542. — P. A10. 1203.5721.
- [6] Khramtsova M. S., Wiebe D. S., Boley P. A., Pavlyuchenkov Ya. N. Polycyclic aromatic hydrocarbons in spatially resolved extragalactic star-forming complexes // *Mon. Not. R. Astron. Soc.* — 2013. — Vol. 431, № 2. — P. 2006–2016. 1302.4837.
- [7] Topchieva A. P., Wiebe D. S., Kirsanova M. S., Krushinskii V. V. Infrared Morphology of Regions of Ionized Hydrogen // *Astronomy Reports.* — 2017. — Vol. 61, № 12. — P. 1015–1030. 1801.08204.
- [8] Draine B. T., Li Aigen. Infrared Emission from Interstellar Dust. IV. The Silicate-Graphite-PAH Model in the Post-Spitzer Era // *Astrophys. J.* — 2007. — Vol. 657, № 2. — P. 810–837. astro-ph/0608003.
- [9] Compiègne M., Verstraete L., Jones A. et al. The global dust SED: tracing the nature and evolution of dust with DustEM // *Astron. Astrophys.* — 2011. — Vol. 525. — P. A103. 1010.2769.
- [10] Compiègne M., Verstraete L., Jones A. et al. DustEM: Dust extinction and emission modelling. — 2013. 1307.001.